

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Chapitre IV - Autres applications des télécommunications

Le Radar & le Système GPS

Par: Pr. ROUABAH Khaled.

2023-2024

Radar historique

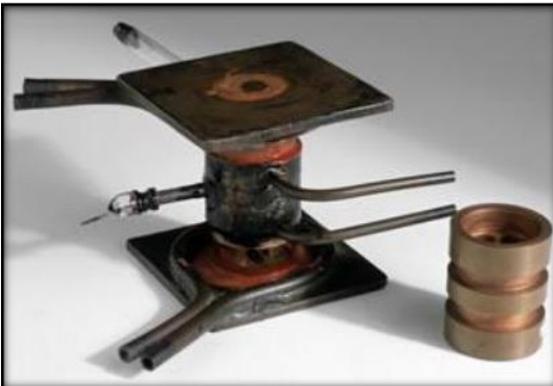
- Le 30 avril 1904, le scientifique allemand « Christian Hülsmeyer » a déposé un brevet pour un appareil appelé le télémobiloscope;
- C'est un dispositif de détection de navire destiné à aider à éviter les collisions dans le brouillard;
- Malgré une démonstration réussie où un navire a été détecté à 5 km, la commercialisation de cet appareil n'a pas pu être développée.



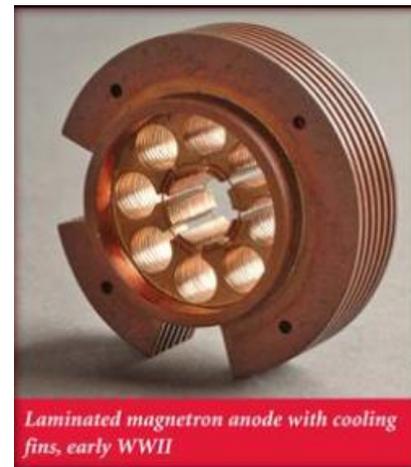
- Le concept de radar n'a pas réapparu jusqu'en 1922, lorsque Marconi a suggéré que les ondes radio pourraient être utilisées pour détecter les navires et dans les années 1930, le paquebot français "SS Normandie" a été équipé d'un "Radar" pour se prémunir contre une éventuelle collision avec des icebergs dans le cas d'une visibilité réduite.

Radar historique

- Au début de la Seconde Guerre mondiale, de nombreux pays expérimentaient le radar, mais le système le plus célèbre était le système britannique « Chain Home Air Surveillance System »;
- Ces premiers systèmes étaient assez rudimentaires mais ajoutaient des informations importantes à l'image globale de la défense aérienne;
- La véritable force du système Chain Home était l'intégration des données obtenues à partir du réseau de plusieurs radars et des informations obtenues à partir d'autres sources;
- Les premiers radars fonctionnaient dans la bande HF et VHF - ce qui les rend très grands et d'application limitée;
- En 1940, John Randall et Harry Boot de l'Université de Birmingham (Royaume-Uni) ont développé le magnétron à cavité. C'était le premier dispositif pratique pour produire les ondes radio ultra-courtes à une puissance suffisante pour permettre au système de fonctionner. Cela permet aux radars d'être conçus suffisamment petits pour tenir dans les avions.



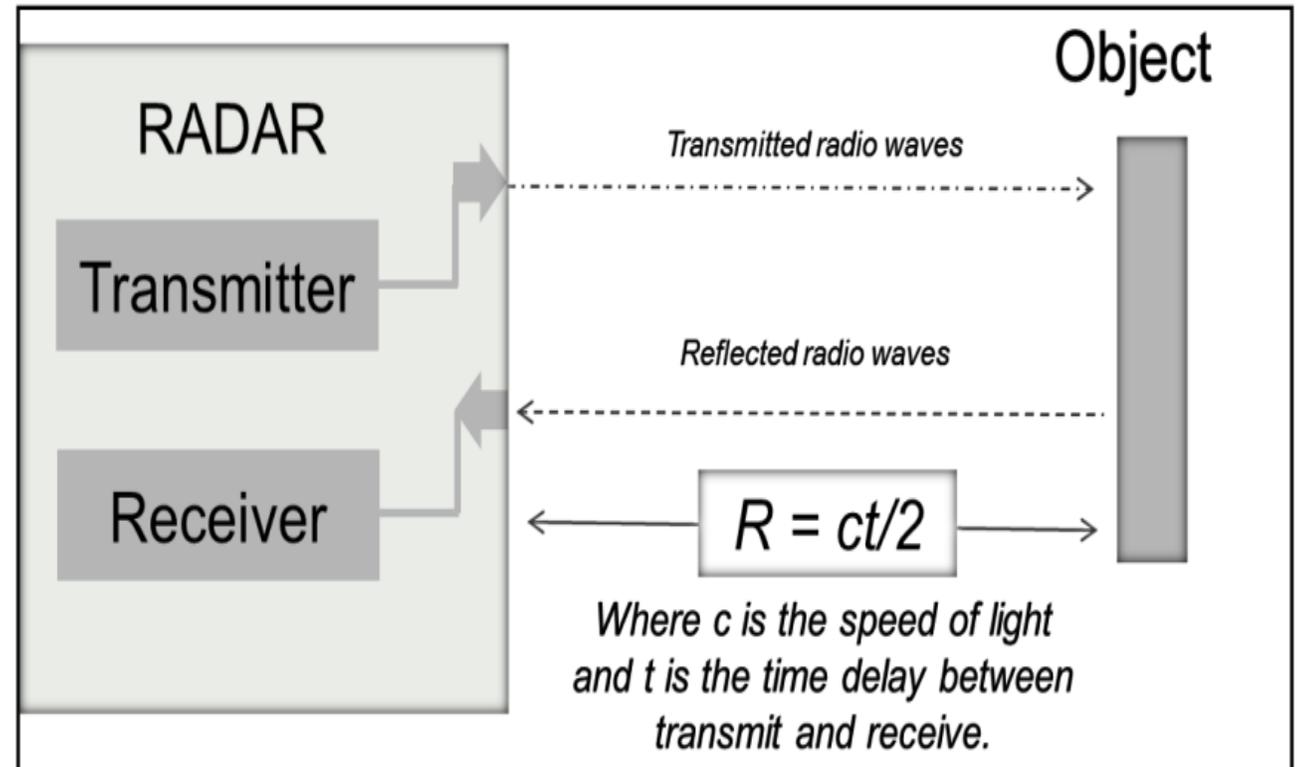
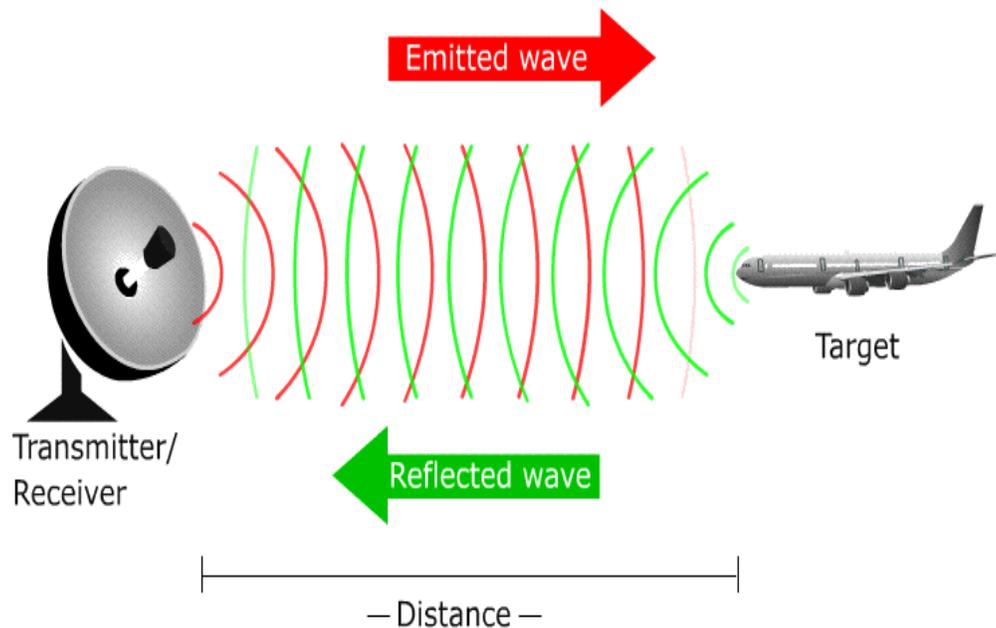
Cavité du prototype d'origine (Université de Birmingham)



Raytheon a développé la première masse magnétrons de production

Radar

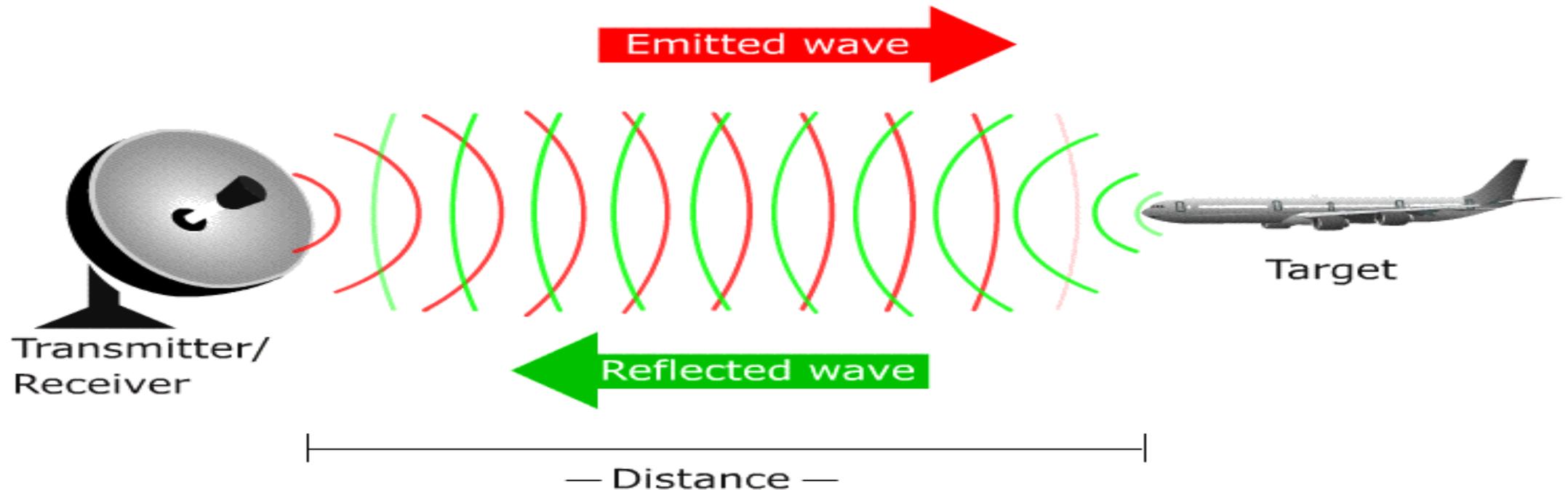
- Radar (acronyme de RAdio Detection And Ranging) est un système de détection d'objets qui utilise des ondes radio pour déterminer la portée d'un objet;
- On peut traduire ce terme par « détection et estimation de la distance par ondes radio » ou plus simplement « radiorepérage »;
- Le terme RADAR a été inventé en 1940 par la Marine des États-Unis d'Amérique.



Radar

Le radar est un système qui utilise les ondes radio pour détecter et déterminer la distance et/ou la vitesse d'objets tels que les avions, et bateaux, ou encore la pluie.

Un émetteur envoie des ondes radio, qui sont réfléchies par la cible et détectées par un récepteur, souvent situé au même endroit que l'émetteur. La position est estimée grâce au temps de retour du signal et la vitesse est mesurée à partir du changement de fréquence du signal par effet Doppler.



Types du Radar

- Les radars sont de toutes formes et tailles et sont utilisés dans une vaste gamme d'applications et de configurations;
- Les utilisations modernes du radar sont très diverses, y compris le contrôle du trafic aérien, l'astronomie, la défense aérienne, Radar antimissile, les radars marins, les systèmes anticollision d'aéronefs ; la télédétection océanique, la surveillance de l'espace extra-atmosphérique, les systèmes météorologiques, l'altimétrie et les commandes de vol ; systèmes de localisation de cibles de missiles guidés; et radar à pénétration de sol pour les observations géologiques, automobiles, etc.,



FPS-132 Early warning Radar



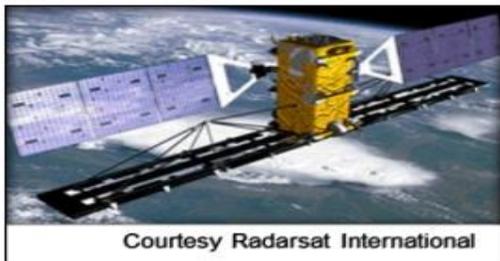
ASR-10SS PSR with co-mounted MSSR



Deep-space radar



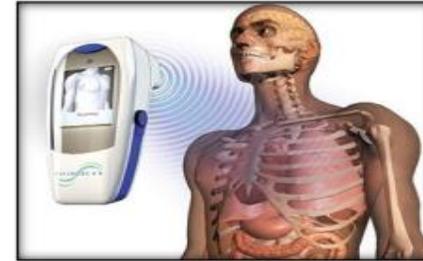
Airborne radar



Space-based radar



OTH radar



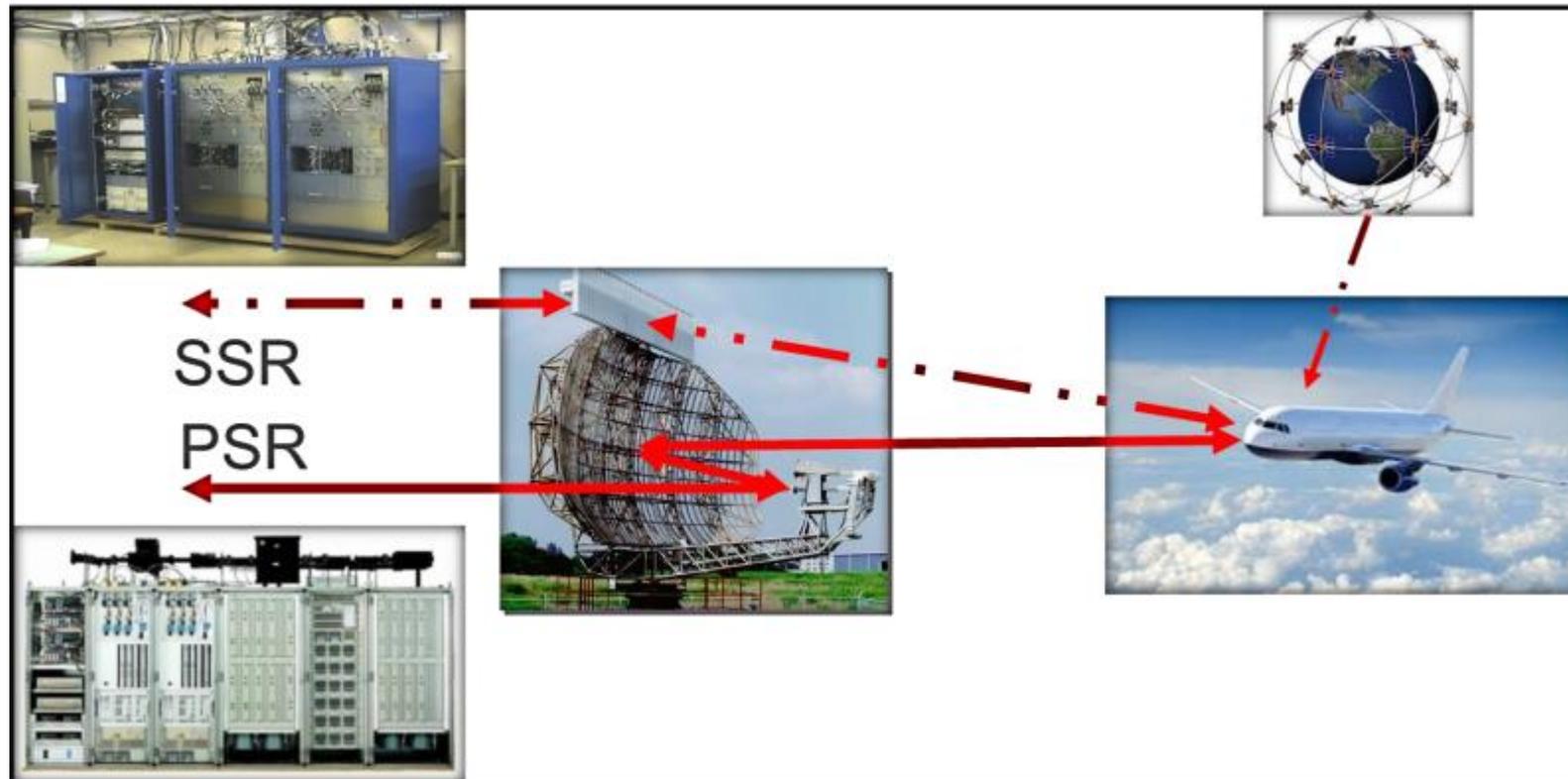
Medical radar



Automotive radar

Types du Radar

- **Radar de surveillance primaire** : le PSR reçoit ses propres signaux émis sous forme d'écho;
- **Radar de surveillance secondaire** : le SSR nécessite un transpondeur qui répond à l'interrogation en transmettant un signal de réponse codé. Cette réponse peut contenir beaucoup plus d'informations qu'un radar primaire



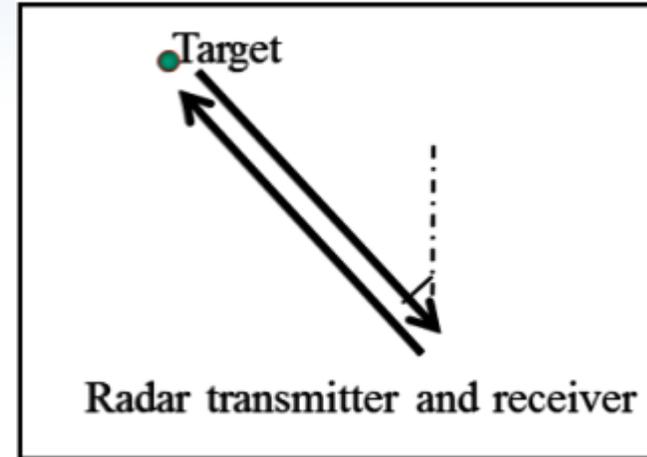
- **SSR est issu du système "Identifier ami ou ennemi" de la Seconde Guerre mondiale**

Types du Radar

→ Radars Monostatiques:

- Emetteur Tx et Récepteur Rx sont colocalisés;
- Ces Radars fonctionnent généralement en mode pulsé;
- Les cercles de recherche sont de portée constante,

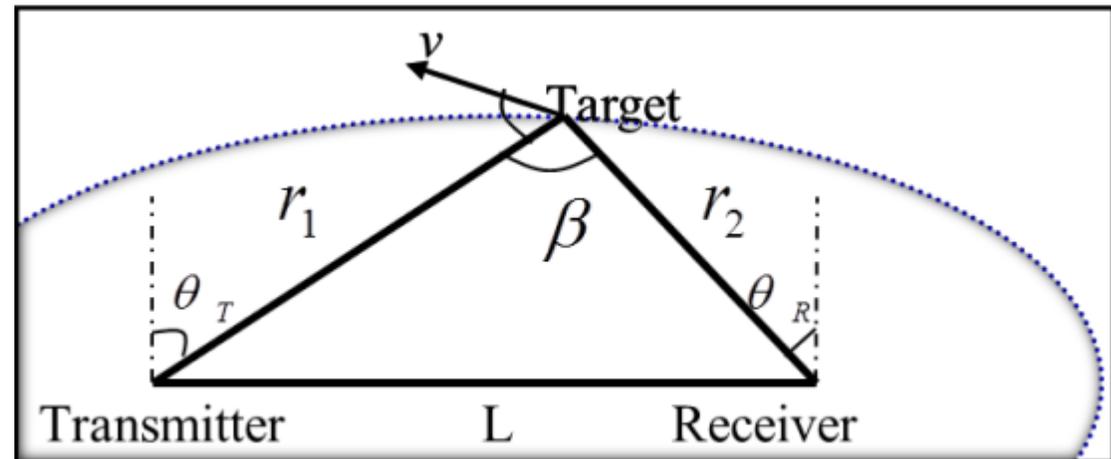
$$R = \frac{ct}{2}$$



Radars Bistatiques:

- Emetteur Tx et Récepteur Rx séparés;
- Ces Radars fonctionnent en mode FMCW;
- Ellipse de plage bi-statique constante R.

$$R = r_1 + r_2 - L$$



Types de modulation dans le Radar

→ Radars pulsés :

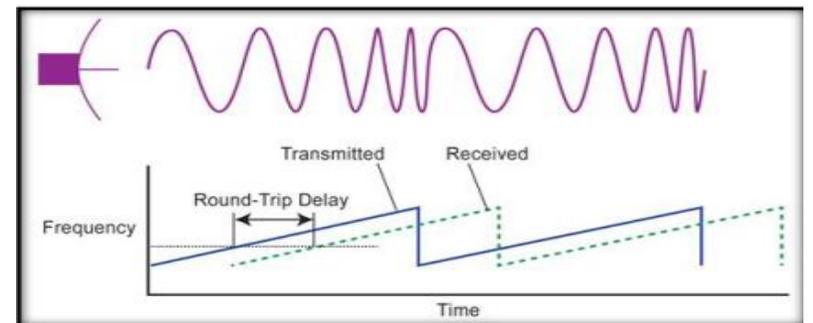
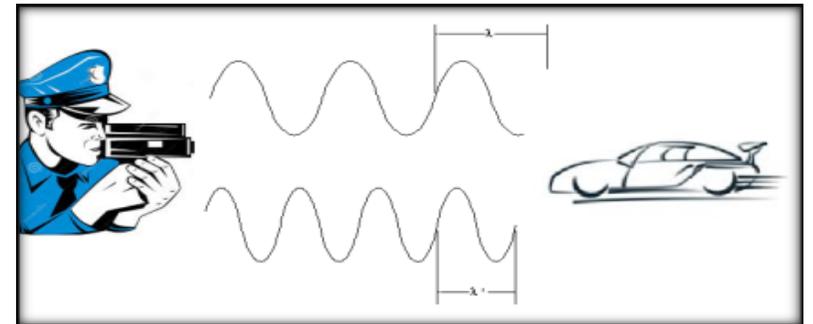
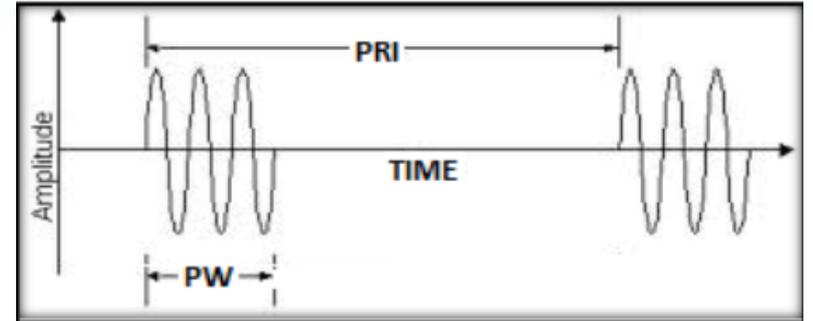
- Ce Radar transmet une courte impulsion après laquelle le système écoute les échos avant d'émettre un nouveau signal;
- Les radars à impulsions utilisent généralement des systèmes d'émission et de transmission colocalisés ou communs;
- Les impulsions peuvent être modulées en phase ou en fréquence.

→ Radar à onde continue (CW) :

- Ce Radar transmet généralement avec une amplitude et une fréquence constantes;
- Le signal d'écho est ensuite reçu et traité;
- Ce Radar mesure la vitesse uniquement (Police - Radar Gun);
- La distance ne peut pas être mesurée;
- Ces Radars sont utilisés par exemple comme jauges de vitesse pour la police.

→ Radar CW-Modulé :

- Dans ce type de Radar, le signal transmis est constant en amplitude mais il est modulé en fréquence;
- La transmission et la réception sont simultanées;
- Généralement de faible puissance ou utilisé dans une configuration bi-statique.



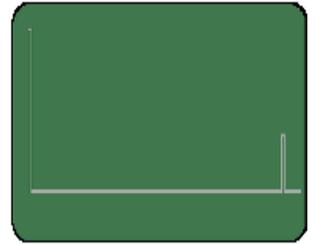
Equation du Radar

- Soit un système Radar constitué d'une antenne d'émission de gain G_e et d'une Antenne de réception de gain G_r ;
- Considérons une cible (Avion, Fusée, ou autre objet) produisant un écho Radar, situé à des distances R_1 et R_2 respectivement des antennes d'émission et de réception.
- La densité de puissance incidente rayonnée au niveau de la cible est donnée par:

$$p_r = \frac{P_e G_e}{4\pi R_1^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R_2^2}$$

- Pour calculer la puissance rayonnée par cette cible au niveau de l'antenne de réception du Radar, nous allons supposer que cette cible se comporte comme une surface σ qui capte une puissance $P_i = p_i \sigma$ et la rerayonne de manière omnidirectionnelle dans l'espace;
- σ est appelée Surface Équivalente Radar (SER) ;
- En anglais, Radar Cross Section (RCS);
- La densité de puissance rayonnée au niveau de l'antenne Radar est donnée par:

$$p_i = \frac{P_e G_e}{4\pi R_1^2}$$



Equation du Radar

- Soit Σ_r , la surface équivalente à l'antenne de réception;
- La puissance reçue est donc donnée par $P_r = p_r \Sigma_r$;
- P_r est donnée par:

→ L'équation du Radar est donnée par:

→ Dans le cas où la même antenne sert à l'émission et à la réception: $G_e = G_r = G$, $R_1 = R_2 = R$. L'équation du Radar s'écrit alors:

→ La surface équivalente Radar (SER) d'une cible est donnée par:

- petit avion à réaction : $0,5 \text{ m}^2$ à 2 m^2 ;
- avion moyen : 2 à 10 m^2 ;
- avion de transport léger : 10 à 20 m^2 ;
- moyen courrier : 30 à 50 m^2 ;
- avion intercontinental : 50 à 100 m^2 .

$$P_r = \frac{P_e G_e}{4\pi R_1^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R_2^2} \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$$

$$P_r = P_e (G_e G_r) \frac{\sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R_1^2 R_2^2}$$

$$P_r = P_e G^2 \frac{\sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}$$

$$\sigma = \frac{P_r}{P_e G^2} \frac{(4\pi)^3 R^4}{\lambda^2}$$

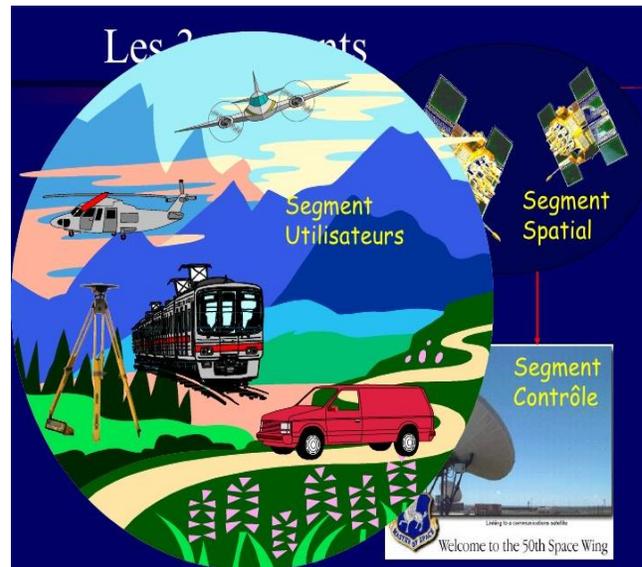
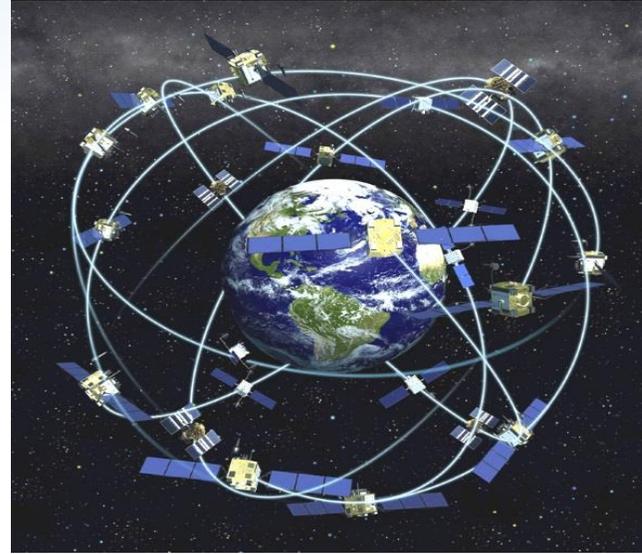
Systeme GPS

Le système NAVSTAR-GPS (Navigation System by Timing and Ranging-Global Positioning System) est un système de positionnement par satellite conçu et mis en service par le département de la défense des ETATS-UNIS (DoD). Il permet de déterminer la position et la vitesse d'un objet ou d'une personne à chaque instant. Son utilisation été prévue avant tout pour les activités militaires, alors que les applications civiles pouvaient librement se développer en second plan.



Description du système GPS

- Segment spatial;
- Segment utilisateurs;
- Segment de contrôle.

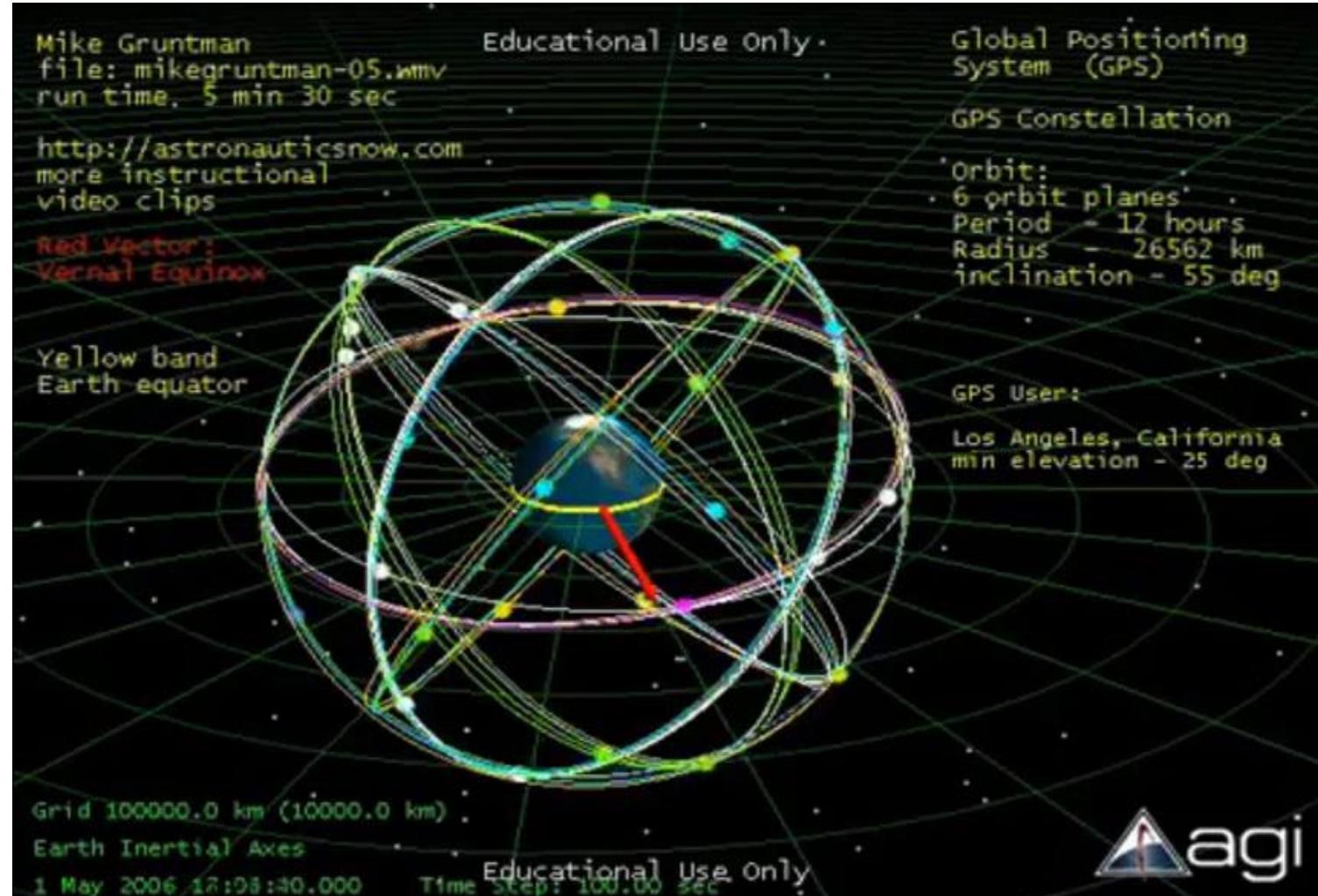


Segment Spatial

Une constellation de +24 Satellites

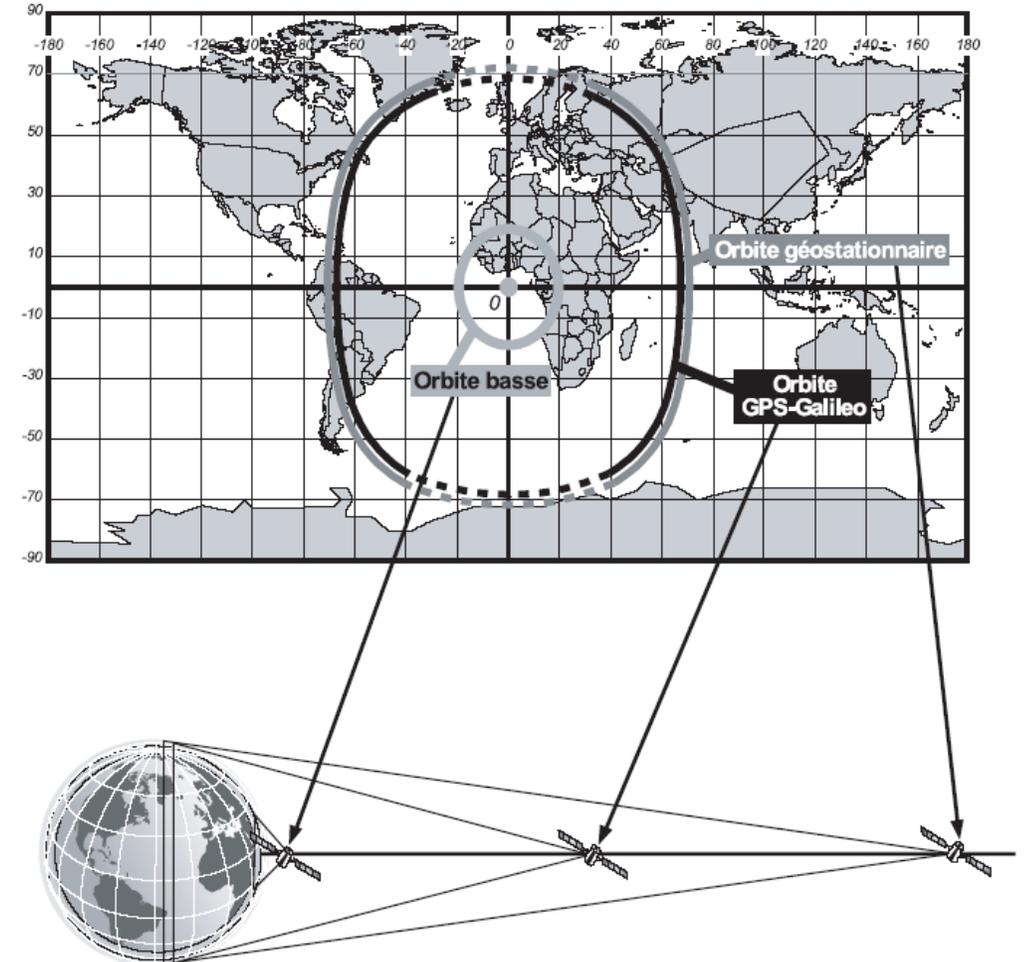
Les satellites GPS ont une altitude de 20200Km. Elle détermine directement la zone couverte et la durée de visibilité d'un satellite depuis un utilisateur au sol.

Le choix d'une altitude trop basse nécessiterait le déploiement d'un nombre trop important de satellites pour couvrir l'ensemble du globe. Une altitude trop élevée entraînerait pour sa part une augmentation de la puissance et de la masse des satellites, pour un très faible gain en zone de couverture



Couverture des satellites GPS

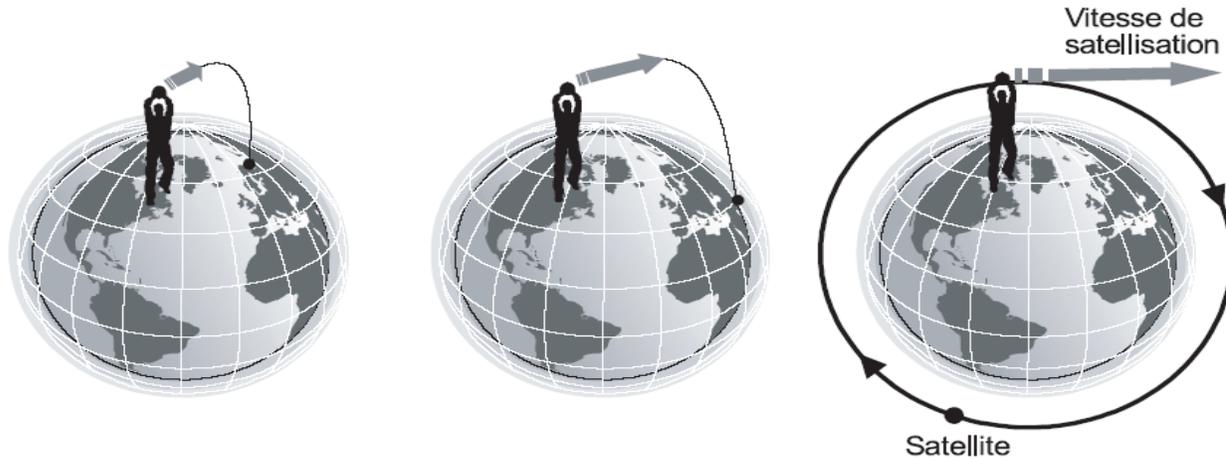
L'altitude du satellite détermine non seulement la durée nécessaire pour faire un tour complet du globe (la période orbitale), mais aussi la taille de la zone de surface terrestre qu'il couvre. Un satellite géostationnaire (36000 km d'altitude) offre une couverture permanente sur près d'un tiers de la surface du globe. La figure ci-contre illustre les zones de couverture d'un satellite géostationnaire, d'un satellite GPS et d'un satellite en orbite basse.



Satellites GPS

Chaque satellite pèse près de 700kg et contient notamment :

1. Plusieurs horloges atomiques;
2. Des panneaux solaires fournissant une puissance maximale de 1500 watts;
3. Un émetteur et un récepteur radio.



Imaginons que nous lançons un objet en direction de l'horizon.

Sous l'effet de la force de gravitation terrestre, celui-ci retombe un peu plus loin sur le sol. Si nous le lançons plus fort, il retombe plus loin. Si nous le lançons de plus haut, il retombe également plus loin. Considérons maintenant la courbure de la surface terrestre, puisque nous sommes à la surface d'une sphère, qui explique que l'horizon se dérobe en permanence quand nous nous déplaçons en ligne droite. Si l'objet est lancé suffisamment fort, la distance dont il tombe après avoir parcouru 10 km correspond à la courbure de la surface du globe sur 10 km.



Segment utilisateurs

Tous les utilisateurs possédant un récepteurs GPS

□ Domaines d'application

- Opérations militaires;
- Transports (maritimes, aériens, terrestres);
- Cartographie;
- Géologie;
- Prospection pétrolière;
- Travaux publics;
- Agriculture & pêche.



Services Assurés

SPS (Standard positioning Service) : code C/A – librement accessible – applications grand public.

CS (Commercial Service) : Applications commerciales à accès restreint.

PPS (Precise Positioning Service) : code P(Y) - Applications militaires – crypté.

PRS (Public Regulated Service) : Autorité publiques (protection civile & police) – crypté.

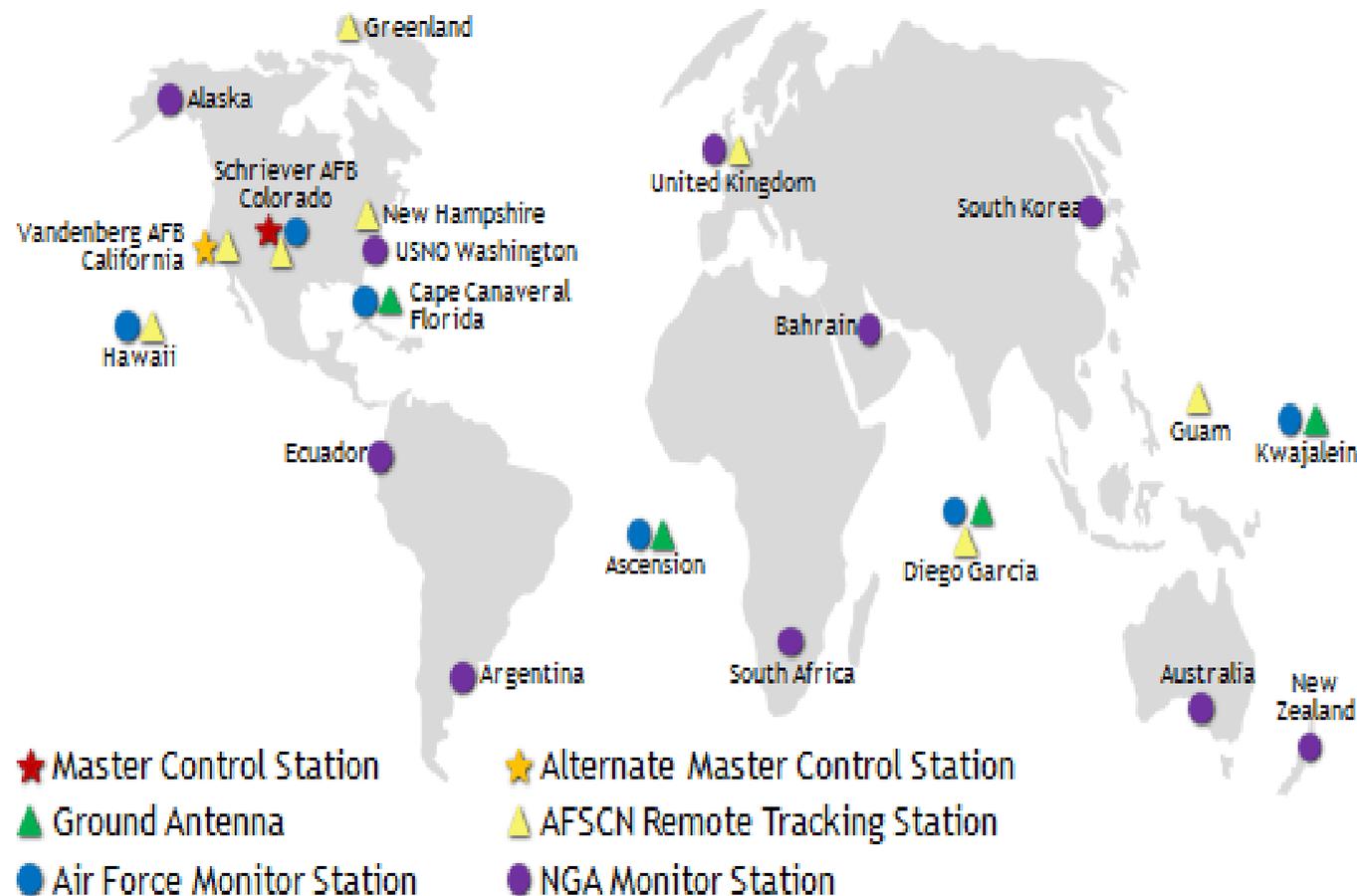
**LIBRE
ACCÈS**



Segment de contrôle

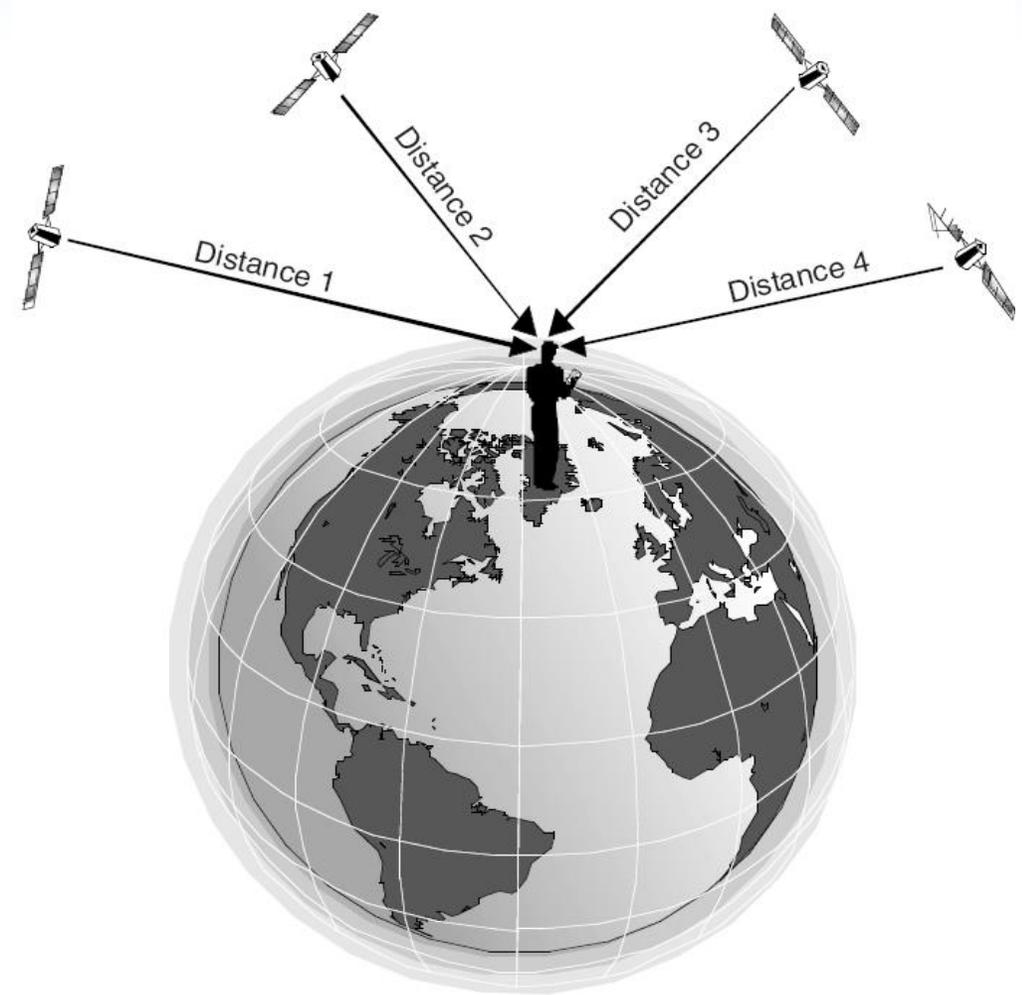
Six stations de surveillance sont situées à la base aérienne de Schriever au Colorado, à Cape Canaveral en Floride, à Hawaï, à l'île Ascension dans l'océan Atlantique, à l'atoll Diego Garcia dans l'océan Indien et à l'île Kwajalein dans l'océan Pacifique sud.

D'autres stations ont été ajoutées en 2005 en Argentine, à Bahreïn, au Royaume-Uni, en Équateur, à Washington DC (District de Colombie) et en Australie. Chacune des stations de contrôle vérifie l'altitude exacte, la position, la vitesse et la santé globale des satellites en orbite. Le segment de contrôle utilise les mesures collectées par les stations de surveillance pour prédire le comportement de l'orbite et de l'horloge de chaque satellite. Les données de prédiction sont reliées, ou transmises, aux satellites pour être retransmises aux utilisateurs.

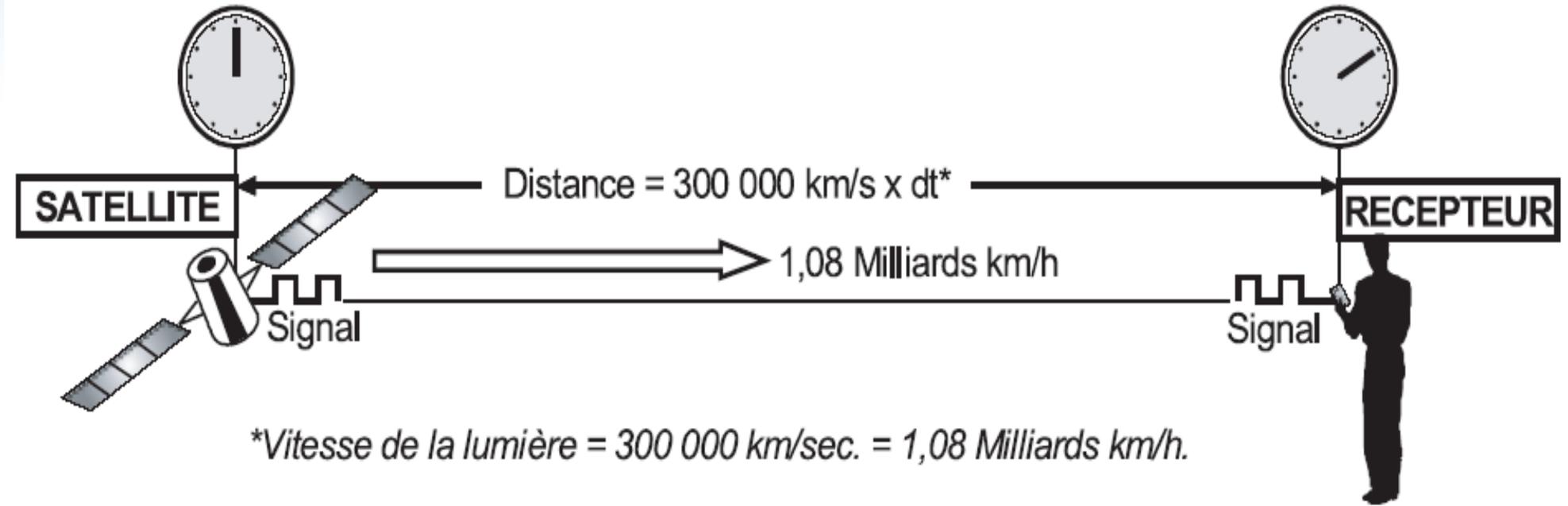


Principe de calcul de position

- Chaque satellite de la constellation diffuse en permanence un signal vers l'ensemble des zones visibles de la terre;
- Il inclut dans son signal les informations donnant sa position précise dans l'espace;
- Un nombre illimité de récepteurs (utilisateurs) qui ne font que la réception des signaux en provenance d'au moins quatre satellites de la constellation;
- Les signaux captés sont utilisés pour mesurer les distances qui séparent un récepteur quelconque de ces quatre satellites;
- La trajectoire de chaque satellite est parfaitement connue à chaque instant (exactitude de l'ordre du cm);
- Un récepteur GPS évalue sa position en calculant les distances qui le séparent des satellites à partir du retard dû au transit des signaux provenant des satellites.



Calcul de la pseudo-distance



Le satellite possède une horloge et introduit dans son signal, à des instants très précis (disons à chaque nouvelle seconde de son horloge), une porteuse, laquelle se propage jusqu'au récepteur de l'utilisateur. Le récepteur possède également une horloge, par rapport à laquelle il mesure très précisément à quel instant ce signal est reçu. En comparant l'instant où le signal a été émis et celui où il est reçu, le récepteur de l'utilisateur peut déterminer le temps de propagation du signal entre le satellite et le récepteur. Connaissant la vitesse de propagation du signal provenant des satellites, qui correspond à la vitesse de la lumière, le récepteur peut déduire la distance parcourue par ce signal, et donc la distance qui le sépare du satellite

Calcul de la pseudo-distance

□ Retard « τ »



Calcul de la pseudo-distance

$$R = c(T_u - T_s) = c\Delta t$$

$$\begin{aligned}\rho &= c(T_u + t_u) - (T_s + \delta t) \\ &= R + c(t_u - \delta t)\end{aligned}$$

T_s : Temps du système pour lequel le signal a quitté le satellite.

T_u : Temps du système pour lequel le signal a atteint le récepteur.

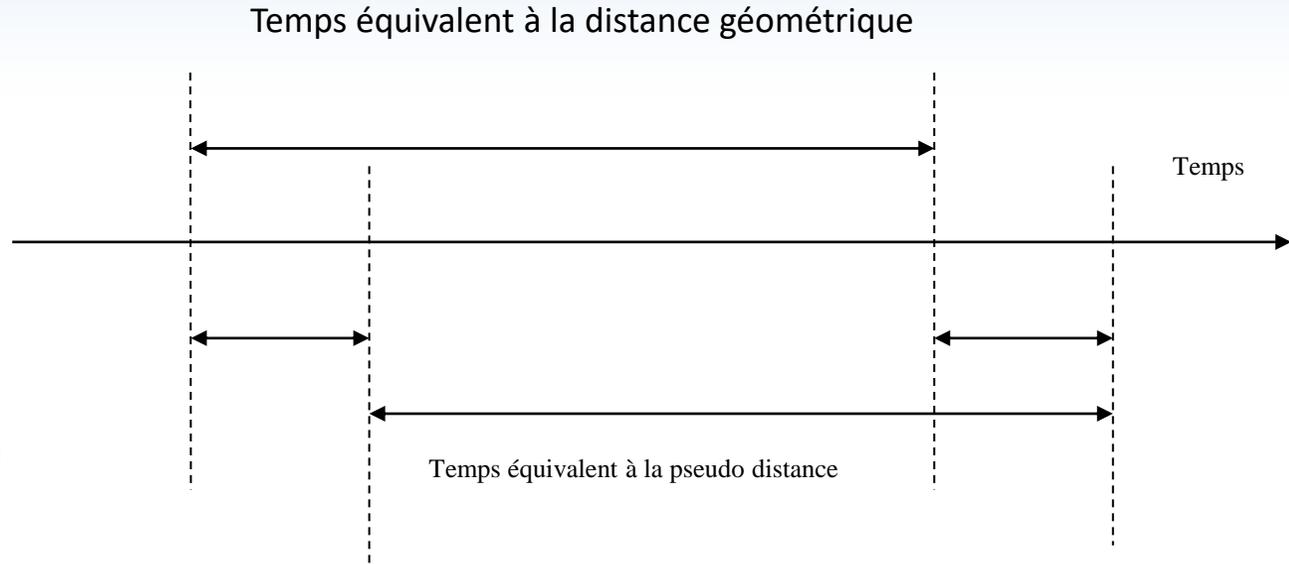
δt : Offset de l'horloge du satellite par rapport au système de temps.

t_u : Offset de l'horloge du récepteur par rapport au système de temps.

$(T_s + \delta t)$: Temps indiqué par l'horloge satellite (temps de départ).

$(T_u + t_u)$: Temps indiqué par l'horloge récepteur (temps d'arrivée).

c : Vitesse de la lumière



Détermination des coordonnées du récepteur

Pour déterminer la position du récepteur à trois dimensions (x_u, y_u, z_u) et l'offset de temps « t_u », on mesure quatre pseudo-distances à partir des positions des quatre satellites. Pour chaque satellite i ($i=1,2,3,4$)

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + ct_u$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + ct_u$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + ct_u$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + ct_u$$